

# 2011-2012 年大陆地区空中积冰的分析

蔡玥

(民航气象中心, 北京 100122)

**摘要:** 分析 2011—2012 年所收集的大陆地区关于空中积冰天气的话音方式航空器空中报告, 按照积冰强度, 高度, 时间及地域分布等进行对比分类, 并进一步对积冰频发区不同季节不同高度层的温湿场进行分析, 得到这期间大陆地区空中积冰分布的气候统计学特点: 2011—2012 年, 大陆地区中度积冰天气报告最多且主要集中发生在中低空, 以中空最为频繁, 在 FL070—FL120 与 FL160—FL210 两个层次有高值区; 冬季为积冰天气多发时期, 春秋两季次之, 夏季最少; 华东、西南、华北地区是大陆积冰多发区, 具体集中在华东东南部、西南东北部及华北中部, 其余地区的积冰发生概率较小; 各地区由于地形及气候不同, 所发生的积冰天气强度、高度及季节特点也有所不同。积冰产生所需温度在  $0^{\circ}\text{C}$ — $20^{\circ}\text{C}$  左右, 且温度越高所需湿度就越大, 温度在  $0^{\circ}\text{C}$ — $-8^{\circ}\text{C}$  时, 所需相对湿度为 50% 以上; 而当温度较低在  $-12^{\circ}\text{C}$  以下时, 相对湿度在 30% 及以上, 再配合一定的垂直运动条件就可产生积冰, 如果相对湿度更低, 则不利于积冰产生。夏季的温度及湿度场配合较不利于积冰产生。在以上方面, 本文所的结论与大陆地区积冰气候分布特点及积冰产生的气候条件相吻合。此外, 话音报告在实际的业务工作中也具有一定的参考和指导意义, 可以为重要天气预报图提供检验和制作的依据, 但由于话音报告资料的局限性, 使得这一方法还有待完善, 这也是我们所有航空预报员与机组等单位的互动及努力方向。

**关键词:** 空中积冰; 话音报告; 气候分布特点; Ncep 资料; 温湿场; 重要天气预报图

## 引言

飞机积冰是指飞机在由过冷水滴组成的云中飞行时, 因水滴冻结、水汽凝华聚积而在飞机某些部位出现的结冰现象。引起飞机表面积冰的因子包括航线上的云层、云中过冷水滴的含量和大小分布、环境温度、垂直速度及其他因子, 金维明等<sup>[1]</sup>研究表明, 飞机在下降阶段减速飞行时, 更容易发生积冰情况; 陈静等<sup>[2]</sup>也探讨了积冰过程的动力学特征, 大量文献<sup>[3-4]</sup>研究表明: 积冰温度一般在  $0^{\circ}\text{C}$ — $-15^{\circ}\text{C}$ , 轻度积冰在  $0^{\circ}\text{C}$ — $-12^{\circ}\text{C}$  出现最多, 中度积冰在  $-2^{\circ}\text{C}$ — $-12^{\circ}\text{C}$  出现最多, 强积冰在  $-8^{\circ}\text{C}$ — $-10^{\circ}\text{C}$  最多, 出现积冰的湿度一般要求  $(T-T_d) < 7^{\circ}\text{C}$ , 以  $4^{\circ}\text{C}$  出现机率最大。较长时间飞行在过冷云水区的飞机由于机面积冰, 可能改变飞机机翼的表面形状乃至流体力学性质, 轻者影响飞机的稳定性和操作性, 重者能使飞机通讯终端, 仪表失灵, 甚至导致机毁人亡的恶性事故。例如, 2002 年 12 月 21 日凌晨, 台湾复兴航空公司 ATR72 型的 GE791 货机在飞行中遭遇严重结冰, 最终导致其在澎湖外海坠毁。根据美国“飞机拥有者和飞行员协会”(AOPA) 航空安全基金会的数据统计<sup>[5]</sup>, 1990—2000 年的 10 年间, 由于天气原因引起的飞行事故共 3230 起, 与积冰有关的共 388 起, 占 12%, 其中灾难性事故 105 起, 占积冰事故的 27%。美国统计资料显示<sup>[6]</sup>, 因飞机积冰造成的经济损失平均每年达 0.96 亿美元。因此, 飞机积冰问题历来受到各国航空和军事部门的高度重视, 美国航空航天局

(NASA) 提出的航空安全技术发展计划中, 就把飞机积冰作为优先考虑的三种气象条件之一<sup>[7]</sup>。

2011至2012年两年期间, 收到的有关于积冰天气的语音方式航空器空中报告数量为163架次, 具有一定的统计学意义, 为空中积冰的研究工作增加了一定依据。根据统计结果, 进一步对不同积冰多发区的温湿场进行对比分析, 得出形成条件的特征; 并对积冰多发月份和基本不出现积冰月份的温湿场进行分析, 找出积冰发生的有利条件。此外, 对积冰报告位置与重要天气预报图做对比验证, 讨论其在业务工作中的实际意义。

## 1、资料和方法

由于温度及湿度条件决定了积冰出现的高度多发生在中低层, 按照航空气象上对于高空及中低空的分类, 以飞行高度层(以下以FL表示) 25000英尺, 即FL250(7500米)为标准, 对2011至2012年所收到的有关于积冰天气的163份语音方式航空器空中报告进行划分(表1), 可看出发生高度在FL250以下的积冰情况约占总数的百分之九十五, 这也符合相关文献对于积冰天气多发生于中低空的研究结论。而发生在FL250以上的高空积冰, 根据语音报告中相关原因的统计, 均为雷雨和对流天气的影响。本文针对FL250以下发生的积冰天气, 按照高度、强度、时间以及地域分布等因素将语音报告分类, 进行分析。由于积冰发生的主要决定因素为温度及湿度, 利用Ncep再分析资料, 对不同积冰频发区在积冰多发时期温度及湿度场对比以及积冰多发时期与积冰少发时期的温度及湿度场作比较, 分析不同地区积冰发生的不同特点以及积冰发生的有利条件。最后对积冰报告位置与重要天气预报图中的积冰预报做对比验证, 讨论其在业务工作中的实际意义。

表1 积冰天气在高空及中低空分布数

高度	FL250以下	FL250以上
数量	155	7

## 2、积冰的分布特点

### 2.1 积冰强度分布

在航空气象中, 积冰强度是按照单位时间积冰厚度或者飞行过程中所积冰层厚度来划分的(表2)<sup>[8]</sup>, 它与云中过冷水含量及水滴大小、飞行速度、机体积冰部位的曲率半径等因素有关, 分为轻度积冰、中度积冰、强积冰和极强积冰。因极强积冰极少出现, 在本文收集资料中并无个例发生, 则按照轻度积冰、中度积冰、强积冰及强度不明将资料分为四类, 如图

1. 可看出，在2011至2012年间，中度积冰发生的频率最大，占总数的56%；强积冰与轻度积冰所占比例相近，分别为18%和16%，而未知强度的积冰天气所占最少，为10%。

表2

飞机积冰强度等级划分				
积冰等级	弱积冰 ☺	中积冰 ☺☺	强积冰 ☺☺☺	极强 ☺☺☺☺
单位时间积冰厚度 (mm/min)	< 0.6	0.6~1.0	1.1~2.0	> 2.0
飞行过程所积冰层厚度 (cm)	≤ 5.0	5.1~15.0	15.1~30.0	> 30.0

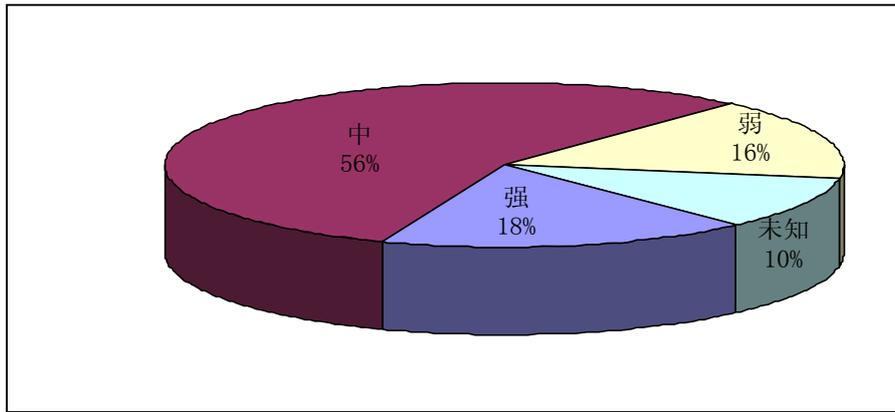


图1 积冰强度分布图

## 2.2 积冰的高度分布

将积冰报告次数发生高度进行统计，选取航空气象高度层分类方式为标准，按照低空（FL100及以下）及中空（FL100以上，不高于FL250）两层进行分类，跨越两个层次的按照两层分开统计，如图2。除2例未知高度的报告外，积冰天气主要发生在中空，也就是飞行高度FL100~FL250之间，在这一高度层中积冰发生频率约两倍于低空中积冰发生频率，且百分之七十五左右的积冰报告均来自于FL100~FL180这一层次。再进一步对高度进行细分，每300米为一个单位，因1200以下及8400米以上报告较少，则不再作划分。从图中可看出(图4)，积冰报告在高度上有两个大值区，分别为2100—3600米（FL070—FL120）与4800—6300米（FL160—FL210）。这说明在这两个高度层中，温度，湿度和垂直速度等因子比较符合积冰天气发生条件。

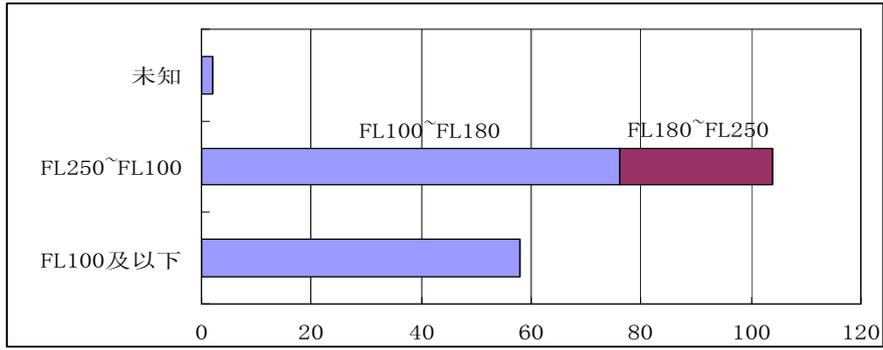


图2 结冰高度分布图

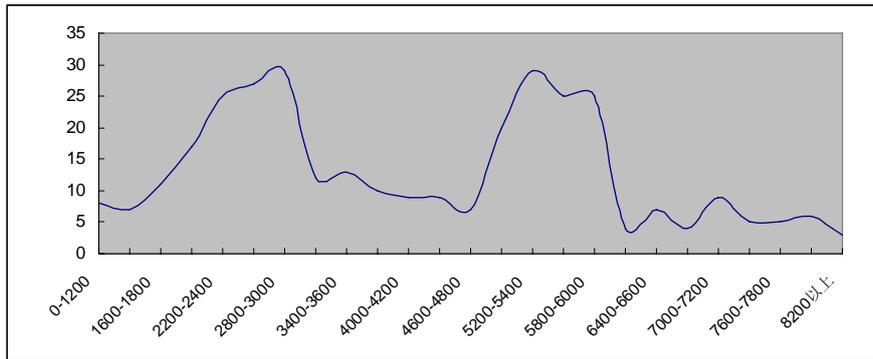


图3 结冰高度分布细分图

### 2.3 结冰的季节分布

分别按照结冰次数在月度和季度的不同分布对两年的资料进行统计，其中发生在相同时间、地点、高度区间的不同航班语音报告计为一次结冰发生次数，得到图4。从图中体现出每年11月至次年3月为结冰天气多发期，收到结冰报告的数量占全年报告总数的百分之七十以上；进入4月份后结冰报告明显减少，至10月期间，结冰天气很少发生，每月均不超过3例；7月份为全年最低，几乎没有结冰发生。

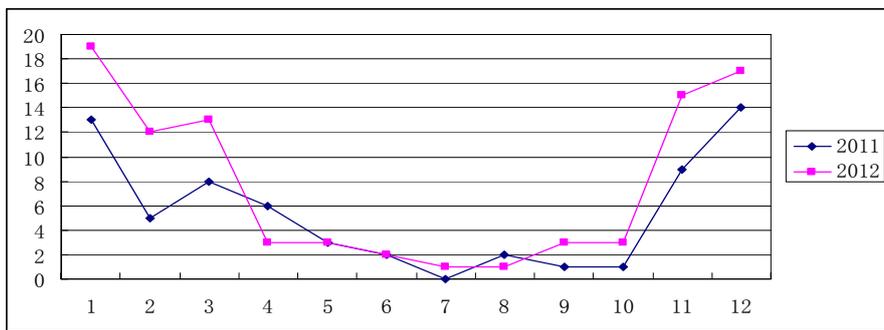


图4 结冰月度分布图

### 2.4 结冰的地域分布

在地域划分上，按照语音方式报告单位来进行分类（图5），可看出在华东及西南地区结冰报告较多，进一步做结冰报告落区图，则直观看到我国大陆地区结冰天气高发区依次位于

华东东南部、西南东北部及华北中部地区，其余地区积冰天气发生概率较低。

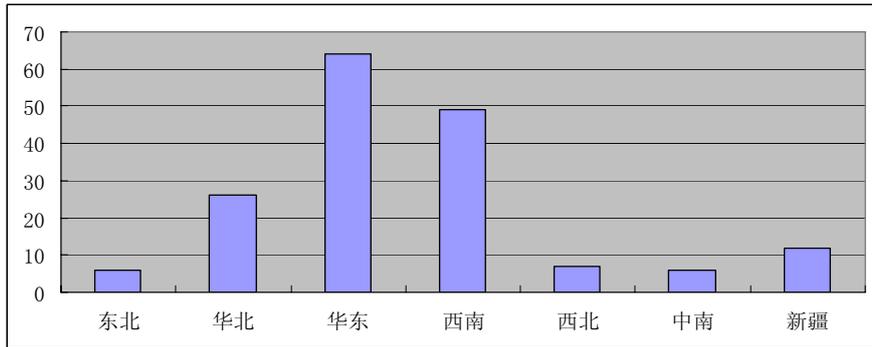


图5各地方气象中心积冰报告数分布图

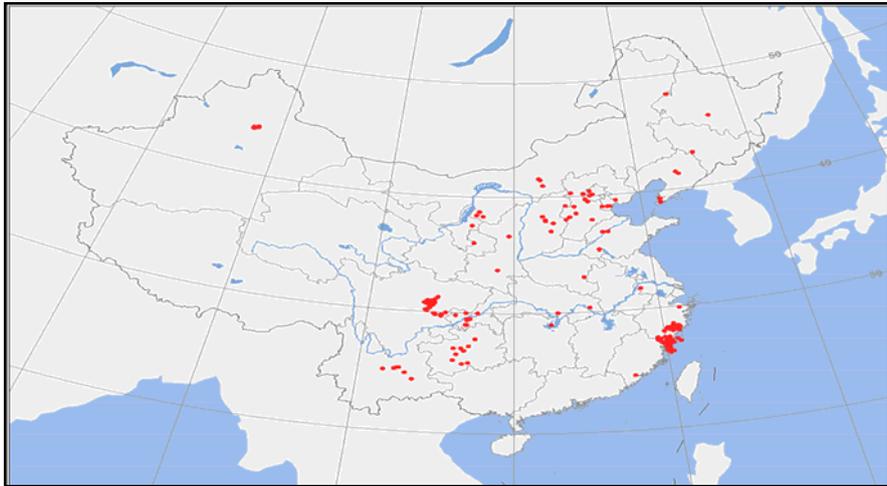


图6 积冰报告落区图

配合2.1—2.3，对积冰天气分布特点作纵向分析可以得到：在大陆地区，华东地区积冰报告数最多，积冰天气发生概率最大，且基本均发生在冬半年（10月至次年3月），主要集中在其东南部，大部为弱积冰或中度积冰，发生高度集中在FL160-FL210之间；在西南地区48例积冰报告中，有36例为川渝地区报告，占整个西南地区的百分之七十五，即集中在西南东北部，高度基本都在FL070-FL120之间，积冰强度分布均匀；华北地区出现的积冰天气主要集中在其中部，强度多为中到强度积冰，高度也相对较高，位于FL180-FL240高度层；中南地区收到的积冰报告全部位于北部，即河南、湖南和湖北地区，而中南南部地区较不易发生积冰天气，基本全年无冰；新疆、西北及东北地区积冰天气较少发生，且发生时间集中在春夏两季，发生高度较低（FL100以下），基本均伴随冷锋过境过程。这些与大陆地区积冰的气候分布特点也较为一致，在相关的研究<sup>[9]</sup>中也有所体现。

### 3、不同积冰频发区在积冰多发期及少发期的温湿场对比：

由以上分析得知华东东南部及西南东北部地区（以下简称华东、西南）为大陆地区积

冰天气最频发的两个地区。两地所处纬度相近,且积冰天气均集中在12月至次年2月,以12月为最多,7月份为积冰最少发生时期;但是又有不同之处:在华东地区,积冰主要发生在FL160—FL210这一层次,而西南地区的积冰则集中在FL070—FL120之间。选取FL180及FL100对应的500hpa和700hpa高度层,利用Ncep再分析资料,做2012年12月份两个层次的温湿平均场(图7、图8)。从图中可看到:在700hpa上,西南地区的平均湿度高于华东地区,在55%-60%之间,而华东地区的则在45%-50%之间;在温度方面,西南地区平均温度在0°C- -3°C,华东则为0°C左右。500hpa上来看,华东地区平均温度在-12°C- -15°C之间,平均湿度为30%左右;西南地区的平均温度为-10°C- -15°C,湿度则为20%或以下。在7月份,由于700hpa的平均温度均为10°C以上,不可能有积冰产生;而500hpa上(图9)平均温度两地均在-2°C- -3°C之间,相对湿度也均为45%左右。由此可以分析出:积冰产生所需温度在0°C- -20°C左右,且温度越高所需湿度就越大,温度在0°C- -8°C时,所需相对湿度为50%以上;而当温度较低,在-12°C以下时,相对湿度在30%及以上,再配合一定的垂直运动条件,就可产生积冰,如果湿度更低,则较不利于积冰产生。所以在冬季由于西南地区在700hpa中低层有孟加拉湾水汽供应,在湿度方面更利于积冰产生,而在中高层相对湿度均较低的情况下,华东地区的温度条件更加有利,而夏季温度及湿度场在配合方面则较不利于积冰产生。

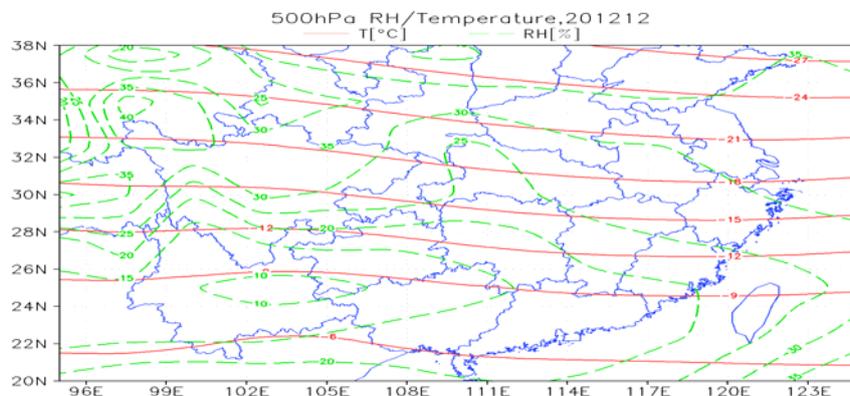


图7 2012年12月500hpa温湿场

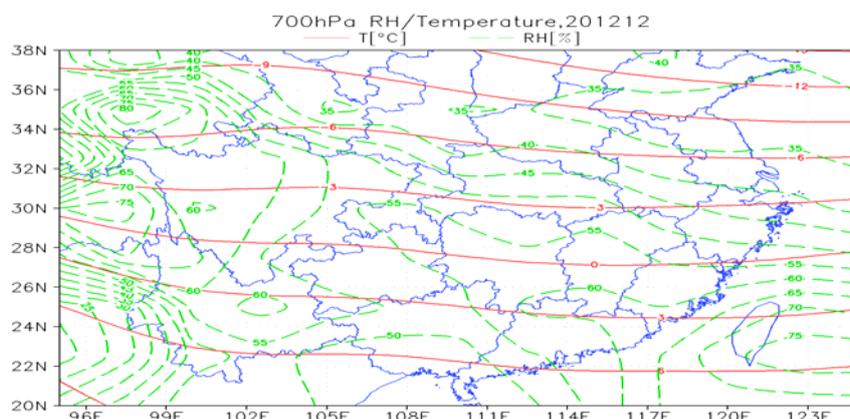


图8 2012年12月700hpa温湿场

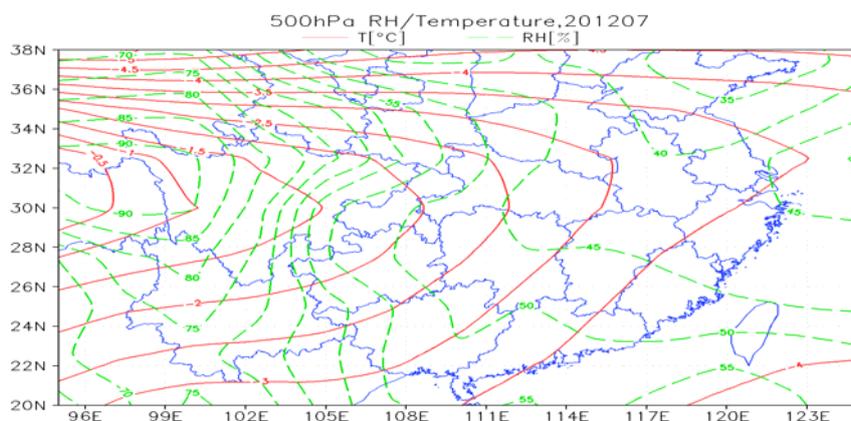


图9 2012年7月500hpa温湿场

#### 4、与航空重要天气预报图之间的验证

重要天气预报图是一种重要的飞行气象文件，而积冰作为一种重要天气，是中层重要天气预报图的重要内容之一。航空器积冰报告是验证预报图中积冰天气预报是否准确的重要依据，同时也可作为一种参考手段。以2012年12月29日12UTC中层重要天气预报图为例，参考各家数值预报等资料后，制作出的积冰区位置与高度由图10可看出，当天在该图的有效时间段内，收到的积冰报告分别为温州三份，武汉一份，具体位置在图10中用红色积冰符号标注，均在所积冰区内。在高度上，温州所收到积冰报告分别位于4800米和5100米，对应FL160和FL170，武汉收到积冰报告高度为3000米，即FL100。由此可看出，武汉所处积冰带的预报与所收报告的实况对应较好，而温州所处的积冰带在高度上预报和实况有所差异，因此在下一时次上的预报图制作上，参考数值资料及分析后做出调整。

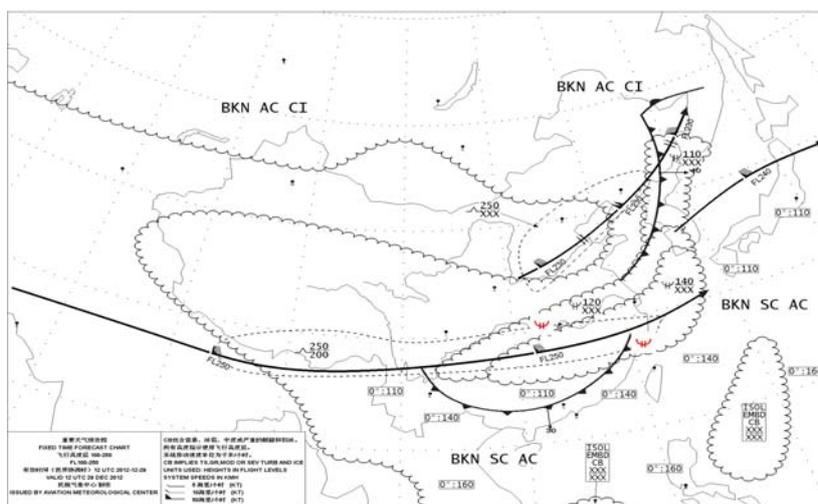


图10 2012年12月29日12UTC中层重要天气预报图与积冰报告

## 5、小结

(1) 2011-2012年, 大陆地区的中度积冰天气报告最多, 强积冰与弱积冰发生频率较平均。在航空器飞行高度上, 积冰天气主要集中发生在中低空, 以中空最为频繁, 积冰报告在高度上有两个大值区, 分别为2100--3600米 (FL070-FL120) 与4800—6300米 (FL160-FL210)。

(2) 冬季是大陆地区积冰天气多发时期, 春秋两季次之, 夏季最少。华东、西南、华北地区为积冰多发区, 具体集中在华东东南部、西南东北部及华北中部, 东北、西北及新疆地区的积冰发生概率较小, 中南南部基本无积冰发生。各地区由于地形及气候不同, 所发生的积冰天气强度、高度及季节特点也有所不同。在这一点上, 本文所的结论与大陆地区积冰气候分布特点相吻合。

(3) 积冰产生所需温度在0℃- 20℃左右, 且温度越高所需湿度就越大, 温度在0℃- -8℃时, 所需相对湿度为50%以上; 而当温度较低在-12℃以下时, 相对湿度在30%及以上, 再配合一定的垂直运动条件就可产生积冰, 如果相对湿度更低, 则不利于积冰产生。夏季的温度及湿度场配合较不利于积冰产生。

(4) 积冰报告可以作为一种实况资料, 可以为重要天气预告图提供验证手段, 并且作为一种参考资料, 为重要天气预告图的制作提供依据, 使得重要天气预告图的制作进一步得到完善, 提高准确率。由于目前在大陆地区话音方式航空器空中报告的取得并不完全, 所得资料也不能全面覆盖所有机组或途径航班, 各地区在相关资料收集也不完全统一, 使得资料具有一定的局限性。从本文所得结论可以看出, 该资料对气候统计学研究有一定依据性, 在实际的业务运行中也具有相应的参考指导意义, 预报员也能依据该资料及时提供相关预报服务并进行研究, 所以话音方式航空器空中报告是应该进一步完善的。

## 参考文献

- [1] 金维明. 飞机发动机积冰原因探讨. 气象. 1997, 23 (12) :11.
- [2] 陈静, 吕环宇. 一次对流不稳定条件下飞机积冰的天气动力诊断分析. 气象. 2006, 12 (12) :66-71.
- [3] 李子良. 飞机积冰预报应用软件. 气象. 1996, V22-12, P17-19.
- [4] 张振林. 阎量良地区飞机积冰的大气环境特征. 飞行试验. 1994 (9) , P25-28.
- [5] Aircraft Icing. AOPA Air Safety Foundation [EB/OL]. [2009 - 09- 04]. <http://www.asf.org>.
- [6] Lilly J, Fabry F. Detection of in-flight icing conditions through the analysis

of hydrometeors with a vertically pointing radar, 11th Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology [C]. Portland, 2004.

[7] Reehorst A L, Brinker D J, Ratvasky T P. The NASA Icing Remote Sensing System: NASA/TM, 213591 [P].

[8] 黄仪芳, 朱志愚. 航空气象[M]. 2002:148-160

[9] 王新炜, 张军, 王胜国. 中国飞机积冰的气候特征. 气象科学. 2002, 9 (22) :343-350